

屏東縣第 66 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科(類)別：生物科

組別：國中組

作品名稱：探究氧化石墨烯濃度與種子萌發率的關係

關鍵詞： 氧化石墨烯、發芽勢、發芽率

編號：B4007

目錄

零、摘要.....	1
壹、前言.....	2
貳、研究設備及器材.....	4
叁、研究過程或方法.....	6
肆、研究結果.....	8
伍、討論.....	18
陸、結論.....	20
柒、參考文獻.....	21

作品名稱：探究氧化石墨烯濃度與種子萌發率的關係

摘要

石墨烯作為一種新興的二維碳材料，因其擁有高導電性、優異的機械強度、熱穩定性與極大的比表面積，已在電子、生醫、環境等領域獲得廣泛應用。隨著研究的深入，其應用逐漸擴展至農業領域，開啟了石墨烯與植物互動的嶄新探討方向。

本實驗使用氧化石墨烯，具親水性，依照重量百分比配製濃度 150 mg/L、250 mg/L、500 mg/L、750 mg/L、1000 mg/L 等適當濃度溶液，將種子分別浸於不同濃度的石墨烯溶液，觀察種子發芽勢、發芽率及根系長度。在綠豆種子方面，其活力強，施用石墨烯浸種後發芽率可達 100%，較對照組水高；而根系長度也較對照組水長，約增長 2~4 倍。另外實驗再選用種皮硬的金蓮花種子觀察其發芽，發現種子活力弱，但在濃度 750 mg/L 下，種子提早發芽了；雖然種子活力弱，不過最後種子發芽率也高，介於 50%~70%間。綜合實驗結果，處以石墨烯浸種的種子可以提早發芽、提升發芽率與增加根生物量。

總之本實驗可以提供一些初步的觀察結果，也有助於了解及確認石墨烯在農業上的應用是否安全或有潛力成為農園藝的綠色科技，提高發芽率，增加農作物產量。

壹、前言

一、研究動機

石墨烯作為一種新興的二維碳材料，因其擁有高導電性、優異的機械強度、熱穩定性與極大的比表面積，已在電子、生醫、環境等領域獲得廣泛應用。隨著研究的深入，其應用逐漸擴展至農業領域，開啟了石墨烯與植物互動的嶄新探討方向。

過去有部分研究指出石墨烯可能對植物的發芽、生長速度、抗逆性與營養吸收有促進作用，特別是石墨烯具備高比表面積與良好的表面修飾能力，使其能作為肥料載體或農藥控釋平台，有效承載並緩釋農業活性物質，提升肥效利用率並減少對環境的負擔。當然也有不少人關注其可能帶來的毒性或對土壤生態系的潛在風險。由於這些正面與負面結果交錯的現象，因此，我們希望透過簡單且容易控制的方式，像是把不同濃度石墨烯溶液噴灑入盆栽土壤中，來觀察它對植物種子發芽與生長的實際影響。這樣的實驗可以提供一些初步的觀察結果，也有助於了解及確認石墨烯在農業上的應用是否安全或有潛力成為農園藝的綠色科技，提高發芽率，增加農作物產量。

二、研究目的

- (一) 探討石墨烯對植物種子發芽過程的影響，評估其是否具備促進或抑制發芽的特性。
- (二) 初步觀察不同濃度石墨烯溶液噴灑入土壤後對植物生理反應的影響，如發芽時間、生長速率與外觀變化。
- (三) 嘗試了解石墨烯在農業環境中可能扮演的角色，如是否具備作為肥料載體或促進劑的潛力。
- (四) 透過本實驗培養對材料科學與植物生理學交叉領域的基本認識，並從中訓練實驗設計、觀察與資料分析的能力。

三、文獻回顧

(一) 奈米農藥與緩釋肥料增效

石墨烯具有極大的比表面積，常被用作農藥和肥料的載體，以實現精準投放和延時釋放。

1. 殺蟲劑增效劑：根據研究顯示氧化石墨烯（GO）可作為農藥增效劑，顯著提高殺蟲劑的生物活性，並降低藥劑對環境的依賴。

- 2.緩釋肥料：石墨烯能延緩氮、磷等營養元素的流失，提高化肥利用率，減少化學物質滲入地下水造成的污染。

(二) 促進作物生長與種子工程

研究發現特定濃度的石墨烯能與植物產生生物交互作用，促進其生理發育。

1. 種子浸種處理：根據《農業工程學報》的研究，使用石墨烯進行浸種處理（如蘿蔔種子），能有效促進種子萌發、提高肉質根產量及品質。在低濃度氧化石墨烯（GO）溶液可刺激種子吸水，提高發芽率（如小麥、稻米實驗顯示發芽率提升 15%-20%）
- 2.調節基因表達：文獻指出，氧化石墨烯能影響植物的基因表達和生理代謝，幫助植物更好地吸收水分與養分。
- 3.抗逆性增強：石墨烯誘導植物合成抗氧化酶，緩解乾旱、鹽分壓力。如番茄在鹽漬土中添加石墨烯後，生物量增加 40%。

(三) 農業傳感器與智慧農業

利用石墨烯優異的導電性與敏感度，開發用於農業監測的高性能傳感器。

- 1.環境監測：開發可檢測土壤濕度、溫度、pH 值、養分含量（如氮、磷、鉀）及農藥殘留的石墨烯傳感器。如石墨烯電極可偵測土壤中的硝酸鹽濃度、柔性石墨烯感測器可即時監測植物蒸散作用或葉片健康狀況；也已有研究將石墨烯與聚合物結合製成土壤濕度感測器，響應速度比傳統感測器快 30%。
- 2.可生物降解傳感器：近期研究顯示，科學家已能利用農業廢棄物（如稻殼、廢紙）製成可降解的石墨烯傳感器，用於植物健康的實時監測，符合環保永續趨勢。

(四) 農業廢棄物轉化與土壤修復

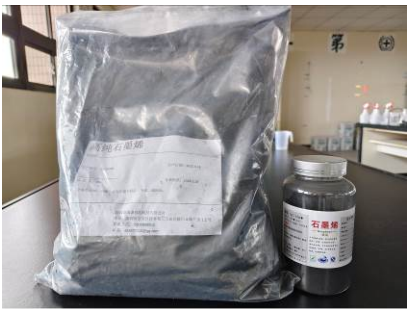
- 1.廢棄物再利用：研究探討如何將低木質素的農業廢棄物轉化為「類石墨化生物炭」，這類材料具備石墨烯的部分特性，可用於提升土壤肥力。
- 2.土壤污染治理：氧化石墨烯可用於吸附土壤中的重金屬鉛、鎘等離子（吸附效率達 90% 以上）或有機污染物，進行農業用地的修復工程。

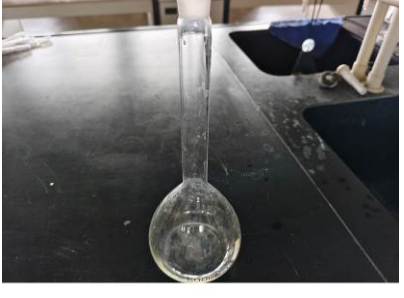
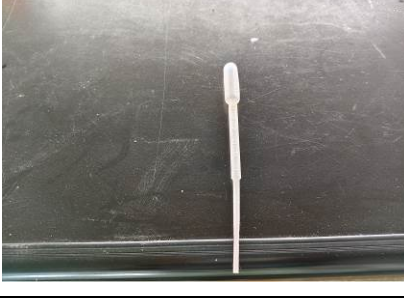
貳、研究設備及器材

一、設備 (圖片由作者拍攝)

	
筆電	電子天平

二、器材 (圖片由作者拍攝)

		
擦手紙巾	衛生紙	脫脂棉
		
石磨烯	綠豆	白菜種籽

		
金蓮花種籽	盆器	噴水瓶
		
洗滌瓶	玻璃瓶	培養皿
		
定量瓶	量筒	燒杯
		
塑膠吸管	夾子	鏟子

叁、研究過程或方法

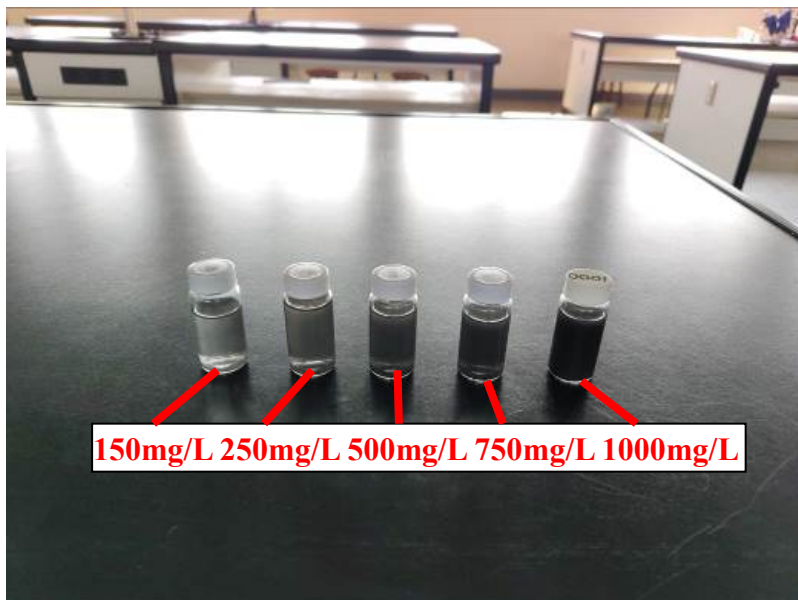
一、石墨烯溶液配製

(一) 分別秤取石墨烯粉末 0.15 克、0.25 克、0.5 克、0.75 克、1 克，加水至 1000 毫升，配製成濃度 150 毫克/1000 毫升、250 毫克/1000 毫升、500 毫克/1000 毫升、750 毫克/1000 毫升、1000 毫克/1000 毫升

(二) 將上述溶液裝入 1000 毫升的噴水器 (圖片由作者拍攝)



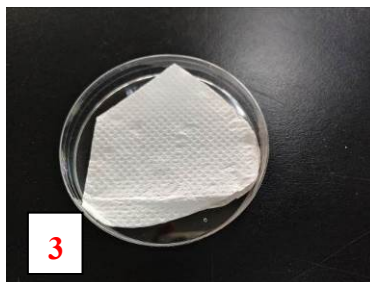
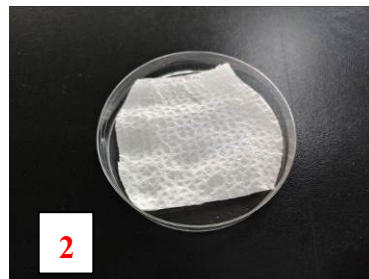
(三) 再將溶液分裝置玻璃瓶中備用 (圖片由作者拍攝)



二、實驗前處理

(一) 培養皿標記不同濃度的石墨烯溶液，分四組處理，並在各個培養皿中放八顆綠豆種籽。

- 1.第一組鋪上撕開的脫脂棉
- 2.第二組鋪上衛生組
- 3.第三組鋪上擦手紙巾
- 4.第四組不鋪



(圖片由作者拍攝)

(二) 培養皿中放入六顆金蓮花

三、實驗後處理

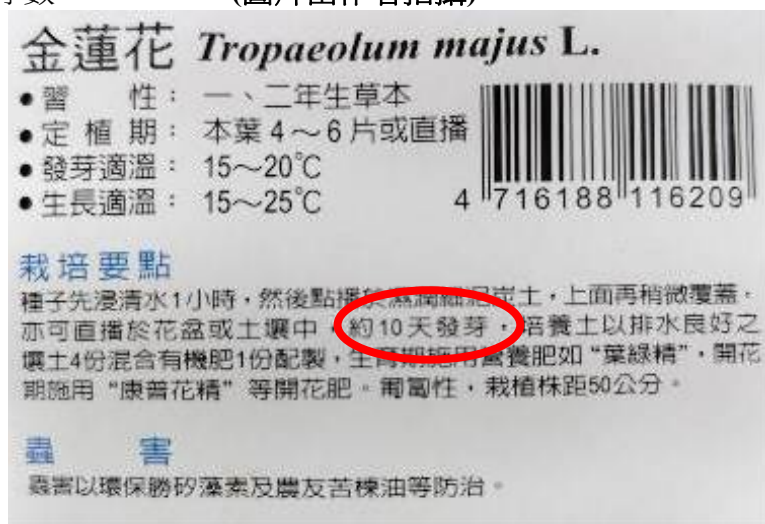
(一) 綠豆組，觀察七天

- 1.每個培養皿 8 顆綠豆，用塑膠吸管(3 ml)吸取 6 ml 石墨烯溶液加入培養皿
- 2.紀錄每天種籽萌發數

(二) 金蓮花組，觀察十天

- 1.每個培養皿 6 顆，用塑膠吸管(3 ml)吸取 6 ml 石墨烯溶液加入培養皿
- 2.紀錄每天種子發芽數

(圖片由作者拍攝)



肆、研究結果

一、綠豆種子發芽觀察

(一) 培養皿鋪衛生紙與擦手紙巾(圖片由作者拍攝)

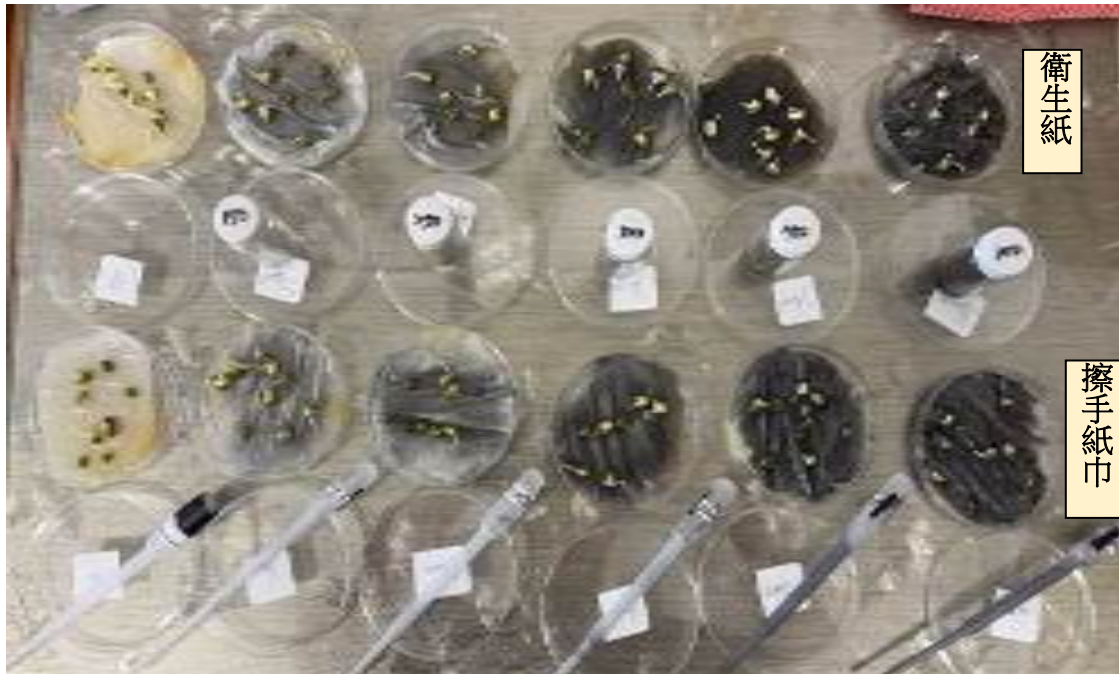


圖 1.綠豆種子放置於平鋪衛生紙與擦手紙巾的培養皿

1.種子發芽數，如表 1 與表 2

表 1.平鋪衛生紙的種子發芽數

天數	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
水	0	0	0	6	7	7	7
150mg/L	0	0	0	4	6	6	6
250mg/L	0	0	0	3	5	8	8
500mg/L	0	0	0	7	8	8	8
750mg/L	0	0	0	7	8	8	8
1000mg/L	0	0	0	6	7	8	8

表 2.平鋪擦手紙巾的種子發芽數

天數	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
水	0	0	0	3	4	6	6
150mg/L	0	0	0	5	6	7	7
250mg/L	0	0	0	3	4	6	7
500mg/L	0	0	0	5	6	7	8
750mg/L	0	0	0	6	8	8	8
1000mg/L	0	0	0	6	7	8	8

2.發芽勢：指在規定的短時間內（通常是試驗前期的 1/3 或 1/2 時間）達到的發芽百分比。

這反映了種子群體爆發力(或活力)的強弱。本實驗觀察 7 天，以試驗前期的 1/2 時間即第 4 天計算，如表 3 與圖 2

$$\text{發芽勢}(\%) = \frac{\text{前段規定期間內的發芽種子數}}{\text{測試種子總數}} \times 100\%$$

表 3.種子發芽勢(%)

	發 芽 勢					
	水	150 mg/L	250 mg/L	500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L
衛生紙	75%	50%	37.5%	87.5%	87.5%	75%
擦手紙巾	37.5%	62.5%	37.5%	62.5%	75%	75%

發芽勢

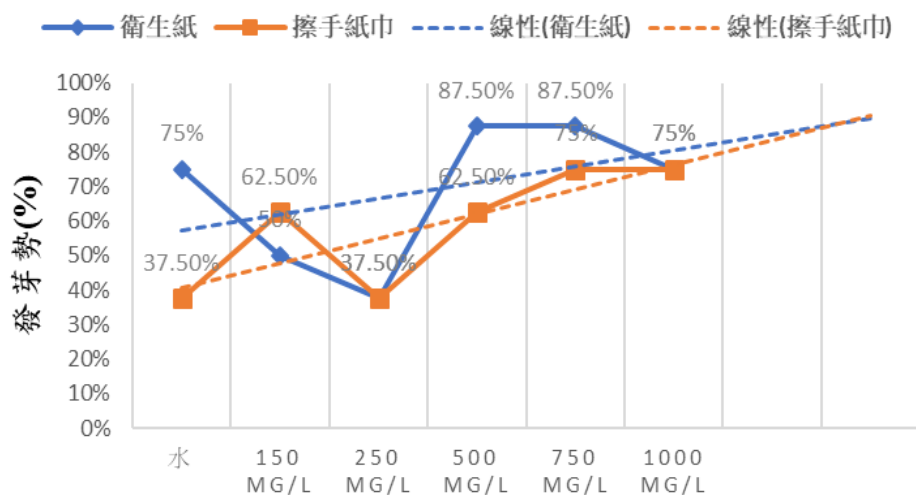


圖 2.種子發芽勢趨勢圖

3.種子發芽率，如表 4 與圖 3

表 4.種子發芽率(%)

	發 芽 率					
	水	150 mg/L	250 mg/L	500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L
衛生紙	87.5%	75%	100%	100%	100%	100%
擦手紙巾	75%	87.5%	87.5%	100%	100%	100%

發芽率

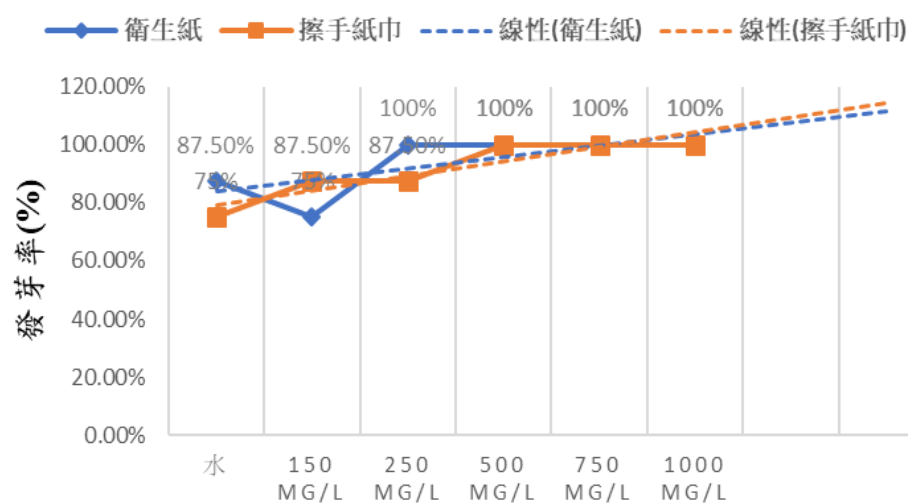


圖 3.種子發芽率

(二) 培養皿鋪脫脂棉(圖片由作者拍攝)

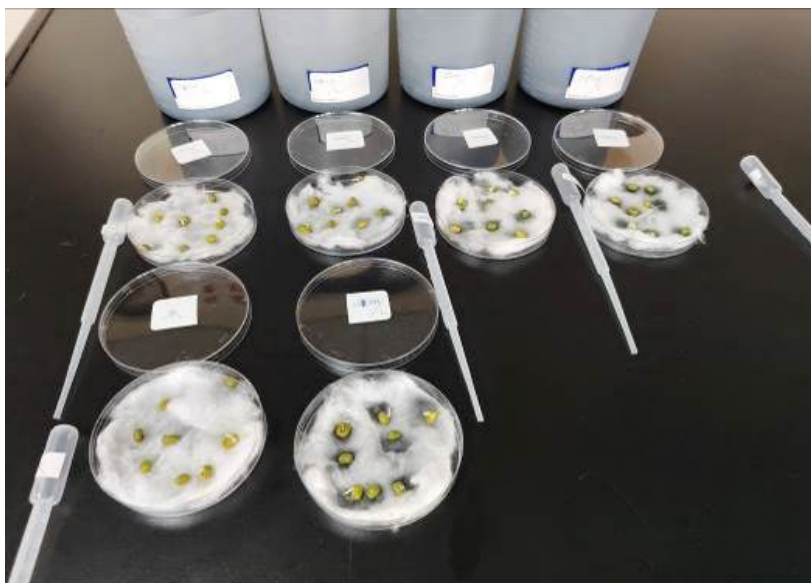


圖 4. 綠豆種子放置於平鋪脫脂棉的培養皿

1.種子發芽數，如表 5

表 5.平鋪脫脂棉種子發芽數

天數	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
水	0	2	2	2	3	3	5
150mg/L	1	2	2	4	5	5	6
250mg/L	1	4	4	5	7	7	7
500mg/L	2	4	4	5	6	7	8
750mg/L	2	4	4	5	6	7	8
1000mg/L	2	3	4	4	5	6	8

2.種子發芽勢，如表 6 與圖 5

表 6.種子發芽勢(%)

	發 芽 勢					
	水	150 mg/L	250 mg/L	500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L
脫脂棉	25%	50%	62.5%	62.5%	62.5%	50%

發芽勢

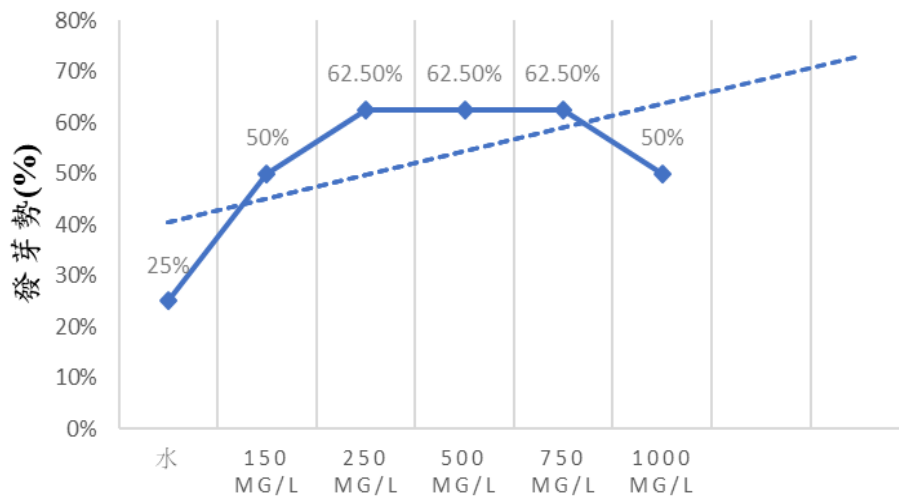


圖 5.平鋪脫脂棉之發芽勢趨勢圖

3.種子發芽率，如表 7 與圖 6

表 7.平鋪脫脂棉之種子發芽率(%)

	發 芽 率					
	水	150 mg/L	250 mg/L	500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L
脫脂棉	62.5%	75%	87.5%	100%	100%	100%

發芽率

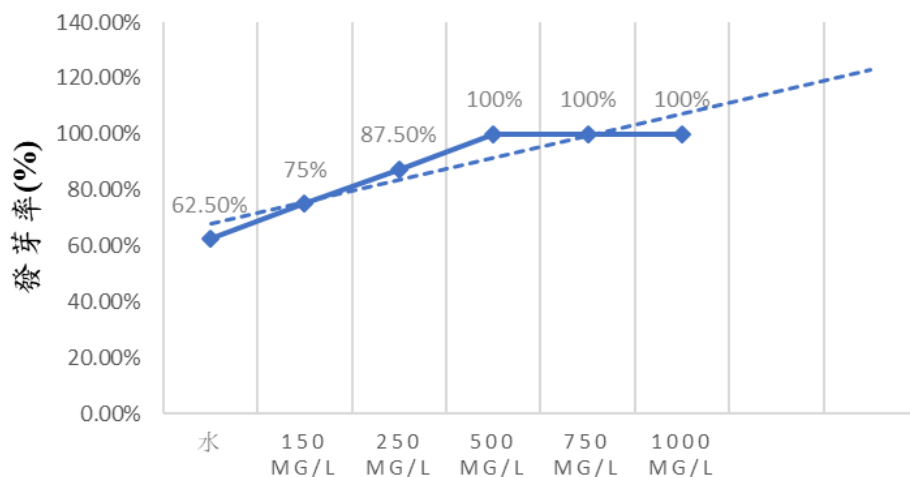


圖 6.平鋪脫脂棉之種子發芽率

結果分析；(1)使用培養皿鋪衛生紙或擦手紙巾觀察種子發芽是常見的教學與實驗方法，雖簡便，但衛生紙或擦手紙巾之保水能力有限，蒸發速度快，在每天滴加水或石墨烯溶液前，發現衛生紙或擦手紙巾是乾的；後改鋪保水力能力佳的脫脂棉，改善了上述情況。

- (2)平鋪衛生紙或擦手紙巾的前三天都沒發芽，第四天後綠豆種子始出現發芽狀態，而脫脂棉在前三天就已有發芽；且從表 3、表 6 和圖 2、圖 5 來看種子發芽勢的趨勢，可推測這批綠豆種子的爆發力優
- (3)觀察 7 天后統計種子發芽率，如表 4、表 7 和圖 3、圖 6 可發現到石墨烯對比水較好，可達到 100%，推論可能石墨烯能穿透種皮，促進種子吸收水分，而促進發芽。

(二) 空培養皿(圖片由作者拍攝)

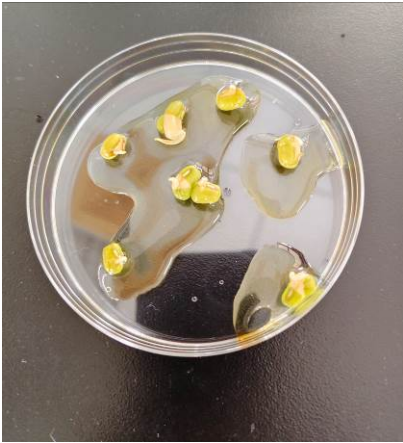
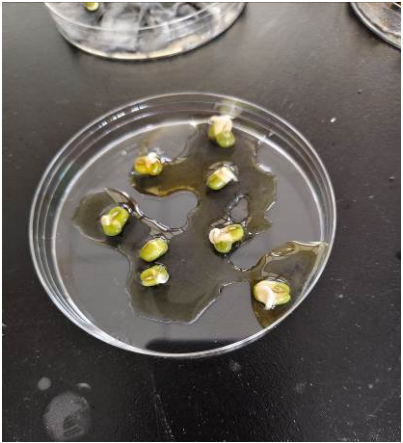
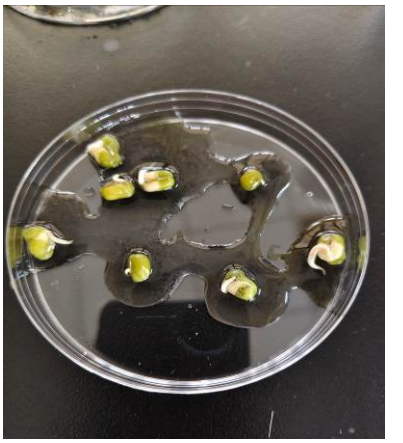
		
水	150 mg/L	250 mg/L
		
500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L

圖 7.放置空培養皿之種子發芽

結果分析：第 3 天時，種子全數發芽，推測可能是水分充足，種子可吸附更多水，使種皮軟化，加速種子發芽。

二、發芽後，綠豆種子根系觀察

(一) 根系生長(圖片由作者拍攝)

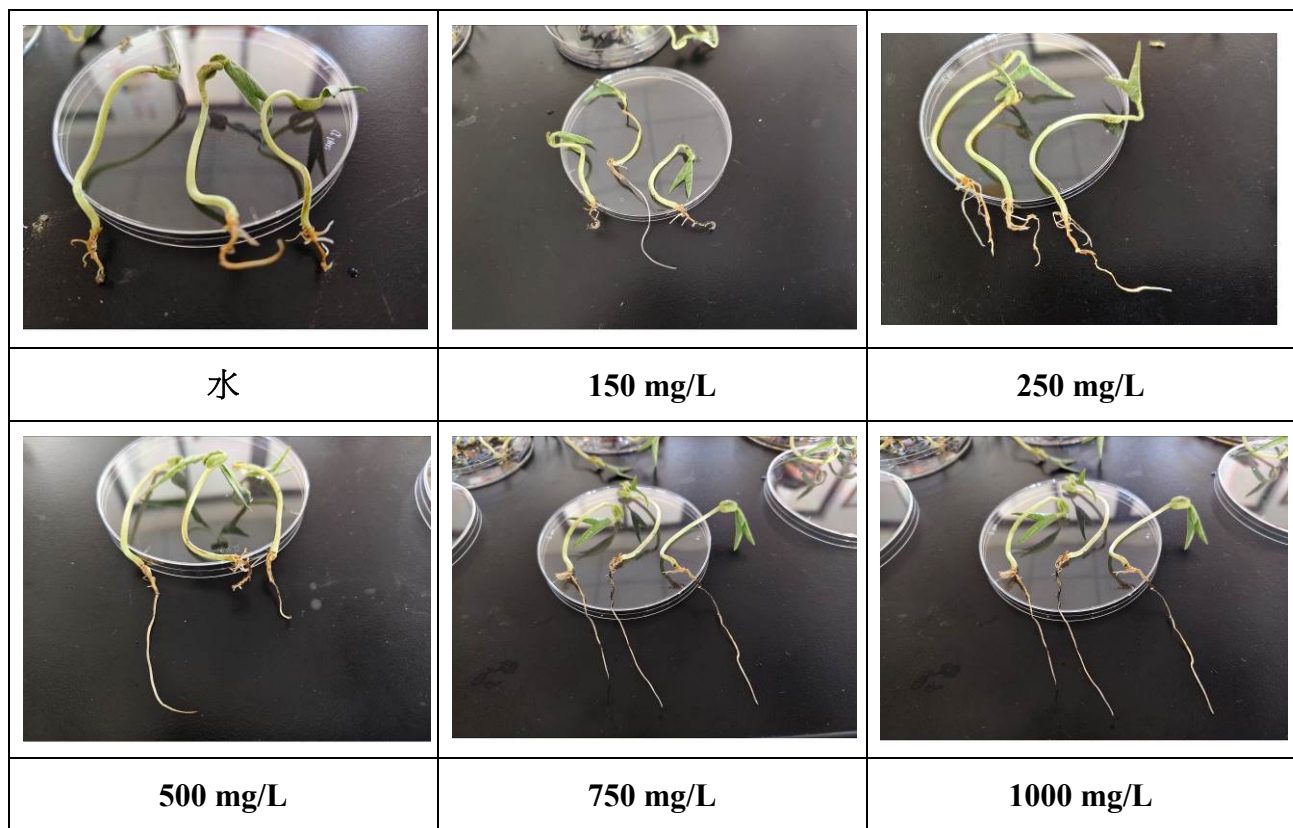


圖 8.發芽後種子的根系

(二) 根系約略長度，如表 8 與圖 9

表 8.種子發芽後根系生長之長度

	水	150 mg/L	250 mg/L	500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L
長度(公分)	1.4 cm	2.0 cm	2.5 cm	3.0 cm	3.5 cm	3.5 cm

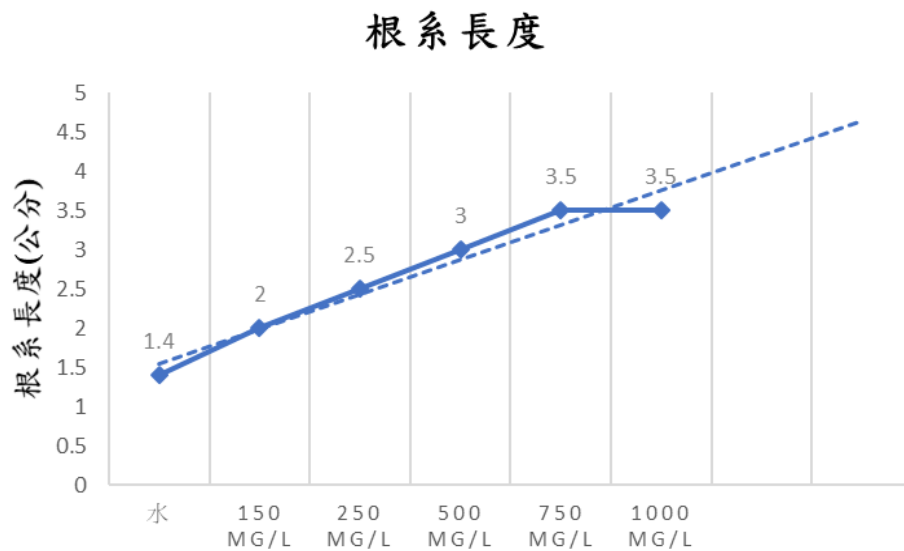


圖 9.種子發芽後根系長度

結果分析：使用石墨烯處理的種子，其根系長度都比水的長，推論石墨烯可能誘導根部細胞某些基因表現，促進不定根形成，增加細根數量；另外，種子發芽期呼吸作用旺盛，所以能量需求大，而石墨烯正可增加粒線體數量，提高能量水平，因此為根系生長提供更多能量。

三、金蓮花種子發芽觀察

(一) 種子前處理，如圖 10 (圖片由作者拍攝)

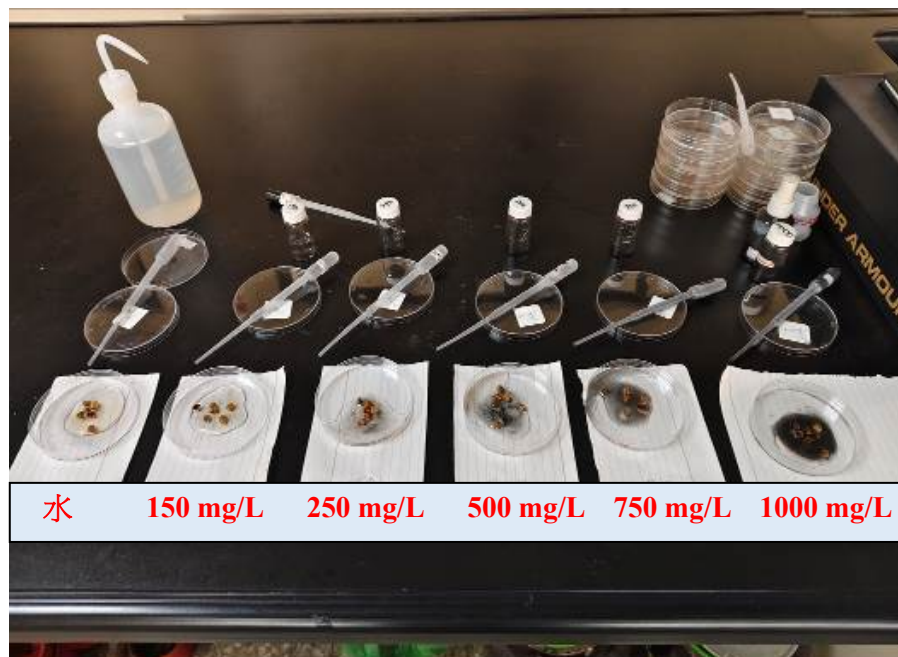


圖 10.金蓮花種子浸泡於水及不同濃度石墨烯溶液

(二) 種子發芽數，如表 9

表 9.金蓮花種子發芽數

天數	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天	第 8 天	第 9 天	第 10 天
水	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
150mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
250mg/L	0	0	0	0	1	1	1	2	3	3
500mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
750mg/L	0	0	0	1	1	1	1	1	2	3
1000mg/L	0	0	0	0	1	1	1	1	4	4

(三) 種子發芽勢，如表 10 與圖 11

表 10.種子發芽勢(%)

	發 芽 勢					
	水	150 mg/L	250 mg/L	500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L
金蓮花	0%	0%	16.67%	0%	16.67%	16.67%

金蓮花種子發芽勢

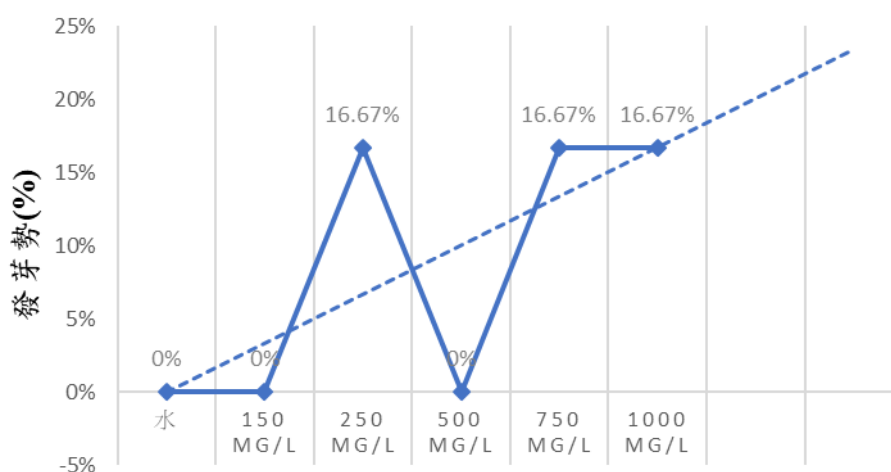


圖 11.金蓮花種子發芽勢之趨勢圖

結果分析：由表 10 與圖 11 得知金蓮花種子發芽勢低，相對種子爆發力較弱，我們推測可能是種子的種皮堅硬，需較長時間才能軟化。

(三) 種子發芽率，如表 11 與圖 12

表 11.金蓮花之種子發芽率(%)

	發 芽 率					
	水	150 mg/L	250 mg/L	500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L
金蓮花	16.67%	16.67%	50%	33.33%	50%	66.67%

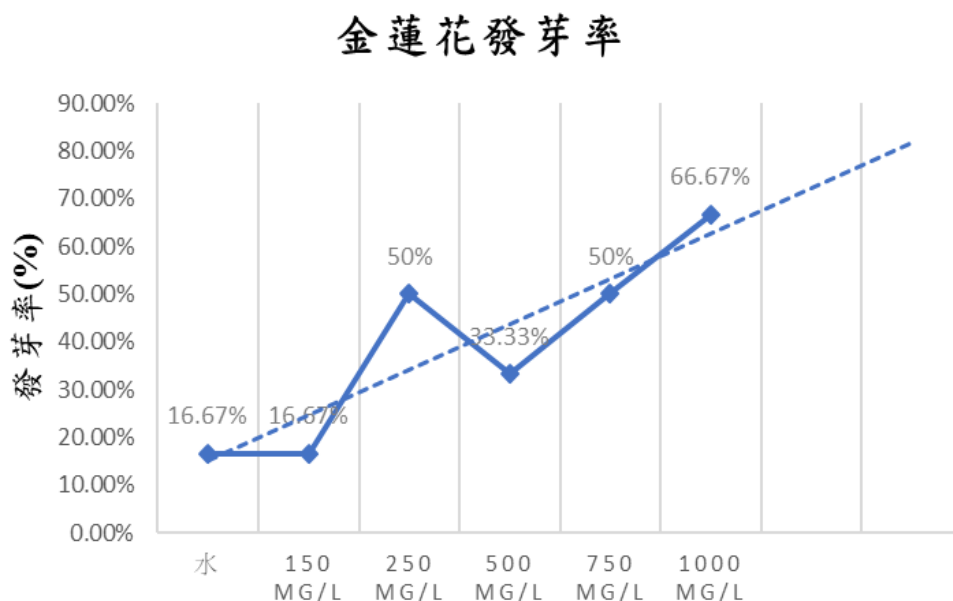


圖 12.金蓮花種子發芽率

結果分析：(1)金蓮花種子發芽時間依包裝袋所述約 10 天，而處以水浸種的剛好在第 10 天有 1 顆發芽；而處以石墨烯浸種的最多有 4 顆發芽。最終種子還是以石墨烯浸種的發芽率最高。

(2)種子種皮堅硬，但第 4 天開始(表 9)，處以石墨烯浸種的除低濃度 150 mg/L 外，其餘濃度都讓種子提早發芽(圖 13)，推論可能原因是石墨烯具有良好的親水性，可顯著提升水分利用效率，使種子更快吸收水分、軟化種皮並膨脹。

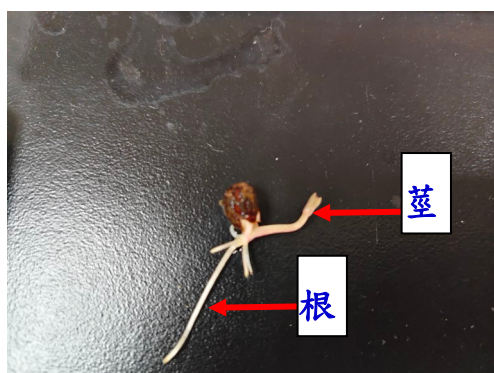


圖 13.處以 750mg/L 石墨烯浸種之種子發芽

伍、討論

一、雖然潛力巨大，但目前石墨烯在農業應用上仍面臨以下挑戰

(一) 長期安全性：其對土壤微生物菌群、生態系統及食物鏈的長期毒理學影響仍需深入評估。

(二) 成本問題：目前尚不具備大規模商業化應用的低成本生產條件。

二、高濃度石墨烯可能抑制根系發育，需嚴格把控劑量（通常安全閾值 $<100\text{ mg/kg}$ 土壤）。

三、石墨烯溶液濃度配製，本實驗依照重量百分比配製。

四、每星期每天都得加溶液，遇假日時，我們將不同濃度的石墨烯溶液分裝於小玻璃瓶帶回家做實驗。

五、實驗過程中，最難控制的是挑選綠豆種子，因會影響整個實驗，尤其要看發芽勢時，設定時間未到，已全數發芽。原則上我們以挑選圓潤飽滿、外型相似的種子，盡量降低實驗進行中的誤差。

六、培養皿鋪衛生紙，實驗過程中有發霉現象以及快乾，所以實驗中需時時注意，避免造成汙染與種子死亡。

七、種子萌發四步驟為吸水膨脹（活化）、營養轉運與代謝、胚根突破種皮（長根）以及胚軸伸長與子葉出土（冒芽），因此在種子萌發的判斷，原則上依胚根突破種皮伸出小根為主。

八、在根系觀察，培養皿鋪衛生紙或脫脂棉的其根易嵌入，取出時會黏附而造成根系受損，如圖 14 紅圈，以致無法觀察。因此為觀察根系生長，決定用空培養皿並注意溶液量，防止過量導致根腐爛。



圖 14.根部黏附脫脂棉

九、丈量根系長度時，因有彎彎曲曲現象，不好測量，有時需要稍微拉一下，原則上我們盡量以求平均值。

十、觀察種子群體**爆發力(或活力)**的強弱，即發芽勢，其時間設定，我們是參考種子之約略萌發時間，比如 **10 天**，就設限**第 5 天**的種子萌發數並求佔比，以衡量種子發芽速度、整齊度及活力強度。

十一、金蓮花種子的萌發期約略 10 天，第 5 天觀察種子發芽時，只有 250 mg/L、750 mg/L、1000 mg/L 各 1 顆，種子的活力不好，不過最終施用石墨烯浸種的種子萌發率還可達 50% 以上。

十二、本實驗所使用的石墨烯是一種易溶解的石墨烯衍生物(即氧化石墨烯)，構造如圖 15。

由於含有多種不同的含氧官能基如**羧基(紅圈)**、**羥基(藍框)**、環氧基、和羰基，且同時具有親水與親油的兩親特性(Amphiphiles)，也因親水性關係，可提升水分利用率，使種子更快吸水。

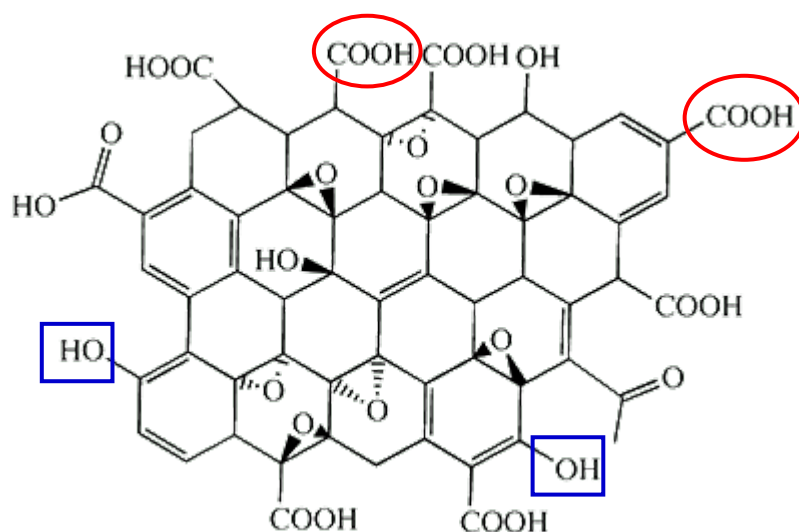


圖 15.氧化石墨烯構造

資料來源；鉅衛科技 <http://ewaytech.com.tw/>產品應用-石墨烯/

陸、結論

- 一、氧化石墨烯（GO）表面含有大量親水性官能基，在適當濃度下能加快種子吸水過程，加速生理代謝，從而顯著提高發芽率。以綠豆這種種皮薄點而言，施用石墨烯浸種的發芽率約為水的 2 倍；種皮硬的金蓮花約為水的 2~4 倍
- 二、金蓮花種子發芽期約 10 天，處以 750 mg/L 濃度下，第 4 天就有發芽現象，可知石墨烯能夠提早種子發芽。
- 三、使用石墨烯浸種的種子，其根系長度都比水的長，增長百分比如表 12 與圖 16

表 6.對比水根系增長百分比

濃度	150 mg/L	250 mg/L	500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L
增長百分比/水	42.8571%	78.5714%	114.2860%	150%	150%

對比水根增長百分比

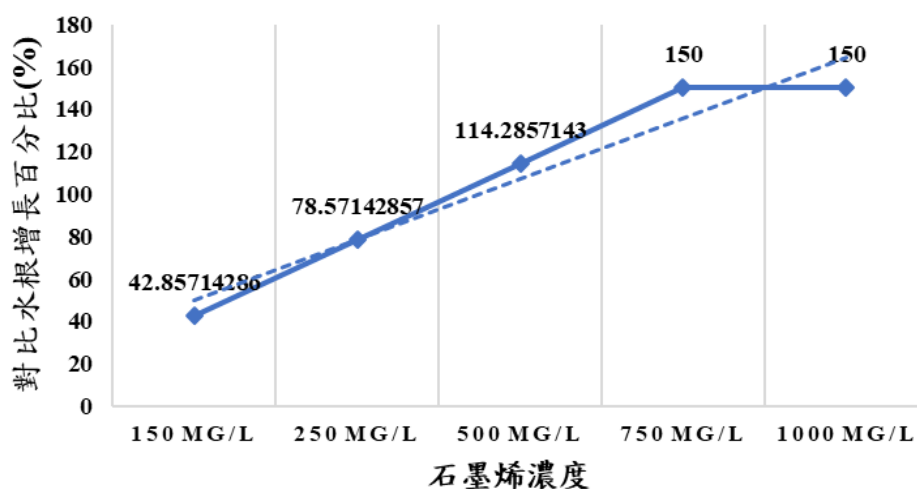


圖 16.對比水根增長百分比

四、未來發展與應用

- (一) 農藥的載體：將殺蟲劑負載到其上，利用其尖銳的片層結構損傷害蟲體壁，增加藥劑穿透力，從而提升對害蟲的防效。
- (二) 土壤保肥和汙染修復：氧化石墨烯具備極強的吸附性，可吸附土壤中的重金屬（如鉛、鎘）並減少氮、磷、鉀等養分的流失，起到保肥和改良土壤的作用。

(三) 植物感測器開發：結合石墨烯的導電特性，可製作追蹤植物生長環境的穿戴式感測器，即時提供水分運輸數據。

(四) 農業材料創新：在溫室薄膜中加入氧化石墨烯可提升抗紫外線和抗菌性能，同時研發可降解的石墨烯地膜，減少「白色污染」(白色污染 (White Pollution) 是指由廢棄塑料製品 (如包裝袋、餐具、地膜、寶特瓶) 造成的環境污染)。

柒、參考文獻

- 一、吳騰飛、唐拴虎、黃建鳳、李蘋、付弘婷、吳永沛、張木(2023) 氧化石墨烯在農業領域的應用研究進展[J]. 廣東農業科學 50(8) p126-p135
- 二、李瓊瑋、畢言亮、閆寧、鄒曉霞、司彤(2025) 氧化石墨烯提高花生種子萌發率和幼苗耐鹽性的生理機制 中國農業科學 58(15) p2993-p3006
- 三、高存斌、張冠琳、劉玉真(2019) 氧化石墨烯暴露對水稻和小麥發芽及幼苗生長的影響[J]. 土壤科學 7(4) p251-p261
- 四、李紫薇、喬俊、支彩豔等(2022) 石墨烯浸種處理對蘿蔔生長和品質的影響[J]. 農業工程學報 38(19) p87-p93
- 五、劉頓、呂月玲、駱漢(2022) 氧化石墨烯對紫穗槐種子萌發及幼苗生長的影響[J]. 種子 41(1): p14-p18,p37
- 六、高夢迪、盛茂銀、傅籍鋒(2019) 納米材料對植物生長髮育的影響[J]. 生物技術通報 35 (7) p172-p180
- 七、程莎、類延華、李環亭、丁明善(2023) 石墨烯材料在農業領域的研究進展 中國農學通報 39(24) p108-p113